



TUGAS AKHIR - TF 141581

**RANCANG BANGUN SENSOR PENGUKUR SUHU
BATERAI *LITHIUM-ION* (LI-ION) BERBASIS
SERAT OPTIK *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE (SMS)***

FERRY MUHAMMAD
NRP. 02311240000107

Dosen Pembimbing :
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TF 141581

**RANCANG BANGUN SENSOR PENGUKUR SUHU
BATERAI *LITHIUM-ION* (LI-ION) BERBASIS
SERAT OPTIK *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE* (SMS)**

**FERRY MUHAMMAD
NRP.02311240000107**

**Dosen Pembimbing
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TF141581

***DESIGN OF TEMPERATURE SENSOR FOR
LITHIUM ION BATTERY BASED ON
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS) OPTIC FIBER***

FERRY MUHAMMAD
NRP.02311240000107

Supervisor
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018*

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ferry Muhammad
NRP : 02311240000107
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sensor Pengukur Suhu Baterai *Lithium-ion* (Li-ion) Berbasis Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)” adalah karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 24 Januari 2018
Yang membuat pernyataan,

Ferry Muhammad
NRP. 02311240000107

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SENSOR PENGUKUR SUHU BATERAI *LITHIUM-ION* (LI-ION) BERBASIS SERAT OPTIK *SINGLEMODE- MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS)



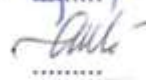
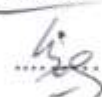
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FERRY MUHAMMAD
NRP. 02311240000107

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|--|---|-----------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc |  | (Ketua Penguji) |
| 2. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D |  | (Pembimbing) |
| 3. Dr.rer.nat.Ir. Aulia Nasution M.Sc |  | (Penguji I) |
| 4. Lizda Johar Mawarani S.T., M.T. |  | (Penguji II) |

**SURABAYA
JANUARI, 2018**

RANCANG BANGUN SENSOR PENGUKUR SUHU BATERAI *LITHIUM-ION* (LI-ION) BERBASIS SERAT OPTIK *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE*(SMS)

Nama Mahasiswa : Ferry Muhammad
NRP : 02311240000107
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

Abstrak

Baterai merupakan salah satu komponen penting alat elektronik, yang dimana sudah menjadi hal esensial keseharian manusia, maka dari itu diperlukan pencegahan kerusakan yang dapat terjadi. Penelitian ini dapat membantu mencegah kerusakan yang dapat terjadi pada baterai Li-ion, khususnya kerusakan yang disebabkan oleh suhu yang tinggi. Telah dilakukan rancang bangun sensor pengukur suhu serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) dengan jenis serat optik *multimode step-index*. Pada tahap awal dilakukan pemilihan panjang serat multimode yang optimal sebagai sensor suhu. Selanjutnya dilakukan pembuatan ketiga variasi panjang *multimode*. Hasil penelitian menunjukkan dari 3 varian panjang *multimode step-index* yaitu panjang 2 cm, 3 cm dan 4 cm, panjang *multimode step-index* 2 cm memiliki performansi terbaik dari perhitungan karakteristik sensor dan pengujian dengan acuan termometer inframerah dibandingkan dengan panjang *multimode step-index* 3cm dan 4 cm. Pengujian dilakukan dengan 3 macam variasi yaitu *charge*, pendinginan dan *discharge*. Dari hasil pengujian didapat bahwa sensor SMS mampu membaca perubahan suhu baterai Li-ion dengan karakteristik statik sensor dengan *range* 26-32°C, *span* 6°C, sensitivitas 0,5408 dB/°C, *hysteresis* 6,63%, resolusi 0,046°C dan standar deviasi 0,0777.

Kata kunci :baterai Li-ion, indeks bias, *multimode*, serat optik, *singlemode*, suhu.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN OF TEMPERATURE SENSOR FOR LITHIUM
ION BATTERY BASED ON SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS) OPTIC FIBER**

Name : Ferry Muhammad
NRP : 02311240000107
Department : Department of Engineering Physics
Supervisor : Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

Abstract

A battery is one of the most important component in electronics, which is now an essential tool for everyday use. There for, there is a need to prevent damage that could happen. This research is able to help the prevention of damage, specifically for the Li-ion battery. Which one of these damages are caused by high temperatures A sensor to measure temperature has been made from fiber optics with multimode-singlemode-multimode (SMS). The first step was deciding the optimal length of the multimode fiber. The results of the research shows that between the 3 variations of multimode step-index length which are 2 cm, 3 cm and 4 cm, the best performance fiber optic made is the 2 cm length multimode step-index fiber compared to the 3 cm and 4 cm length multimode fibers. The tests that were conducted had 3 variations which are charge, discharge and cooling down. The tests made a change in the refractive index and the propagation of the light inside the SMS fiber optics. The research has concluded that this sensor can and is able to read temperature change with stability, with sensor characteristics of range 26-32 °C, span 6°C, sensitivity 0.5408 dB/°C, hysteresis 6.63%, resolution 0.046°C dan deviation standard of 0.0777.

Keywords :Li-ion battery, multimode, fiber optic, singlemode, temperature and refractive index.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT yang telah memberi berkat dan rahmatnya. Atas petunjuk, dan karunia-Nya penulis telah melaksanakan tugas akhir periode ganjil tahun ajaran 2017/2018 sampai dengan menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul

RANCANG BANGUN SENSOR PENGUKUR SUHU BATERAI *LITHIUM-ION (LI-ION) BERBASIS SERAT OPTIK SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)*

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memenuhi mata kuliah TF 141581 Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama melaksanakan dan penyusunan laporan tugas akhir praktek ini, penulis telah mendapat banyak dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, almarhum bapak, Doddy Hidajat yang membesarkan saya dan menyarankan jurusan ini. Ibu saya, Henny Chairani dalam doa dan pemberian semangatnya.
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir sebagai dosen pembimbing, penyemangat moral juga selaku ketua Jurusan Teknik Fisika FTI ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc. sebagai ketua dosen penguji, Bapak Dr.rer.nat.Ir. Aulia Nasution M.Sc. sebagai dosen penguji dan Ibu Lizda Johar Mawarani S.T., M.T. sebagai dosen penguji atas segala bantuan dan sarannya.
4. Bapak Gunawan yang telah menjadi dosen wali yang telah menjadi dukungan moral dan sumber nasihat. Ninik Irawati sebagai staf asisten bapak Hatta yang telah membantu dalam pengerjaan, Elox Suraya rekan sebangkungan yang juga telah membantu dalam pengerjaan.

5. Ketiga kakak saya Farika Rezina, Renny Anggraeni dan Harry Kusuma yang selalu menyemangati.
6. Jordy Adith Praditya, Bellaria Putri, Ivan Novendianto, Rinanda Asty, Ilham Rimsy Yahya, Wahani Karunia Saputri dan Az Zahroh serta senior yang senantiasa memberikan banyak bantuan serta pengetahuan.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa terdapat beberapa kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar penyusunan laporan selanjutnya lebih baik lagi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, 23 Januari 2018
Penulis

Ferry Muhammad
NRP. 02311240000107

DAFTAR ISI

Abstrak	xiii
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
BAB II	5
DASAR TEORI.....	5
2.1 Sensor.....	5
2.2 Baterai <i>Lithium Ion</i> (Li-ion).....	7
2.3 Serat Optik <i>Step-Index</i>	9
2.4 Serat Optik Singlemode dan <i>Multimode</i>	10
2.5 Serat Optik Berstruktur SMS	11
2.6 <i>Fusion Splicer</i>	12
2.7 Interferensi <i>Multimode</i>	13
2.8 Pengaruh Suhu Terhadap Sensor	14
BAB III.....	17
METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	17

3.2 Peralatan dan Bahan.....	19
3.3 Perancangan & Pembuatan Sensor.....	20
3.4 Pengujian Sensor Fiber Optik SMS	21
3.5 Karakteristik Statis Fiber Optik SMS.....	21
BAB IV.....	23
HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pengujian Sensor Panjang multimode 2 cm.....	23
4.2 Pengujian Sensor panjang multimode 3 cm	24
4.3 Pengujian Sensor panjang multimode 4 cm	26
4.4 Pengujian Perbandingan Suhu <i>Increasing-Decreasing</i>	28
4.5 Percobaan <i>Discharge</i>	31
4.6 Pengujian Stabilitas Nilai Temperatur dan Waktu	32
4.7 Pengujian Karakteristik Sensor SMS	33
BAB V	39
PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN A-1	A-1
LAMPIRAN B-1	B-1
LAMPIRAN C-1	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baterai Li-ion.....	9
Gambar 2.2 Gambar struktur fiber <i>step-index</i>	10
Gambar 2.3 Struktur <i>singlemode</i> dan <i>multimode</i>	11
Gambar 2.4 Struktur serat optik SMS	11
Gambar 2.5 <i>Fusion splicer</i>	13
Gambar 2.6 Interferensi <i>multimode</i>	13
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	18
Gambar 3.2 Diagram alir pengujian	19
Gambar 4.1 Grafik perbandingan daya keluaran dan suhu panjang <i>multimode</i> 2 cm, 3 cm, 4 cm.....	27
Gambar 4.2 Grafik <i>reversibility</i> 2 cm.....	30
Gambar 4.3 Grafik perbandingan <i>charge-discharge</i> 2 cm	32

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.2 Suhu – Daya Keluaran Panjang <i>multimode</i> 2 cm	23
Tabel 4.3 Suhu – Daya Keluaran Panjang <i>multimode</i> 3 cm	25
Tabel 4.4 Suhu – Daya Keluaran Panjang <i>multimode</i> 4 cm	26
Tabel 4.5 Suhu <i>Increasing (Charging)</i>	28
Tabel 4.6 Suhu <i>Decreasing (Dibiarkan)</i>	29
Tabel 4.7 Suhu – Daya Keluaran Discharge	31
Tabel 4.8 <i>Range</i> Sensor SMS.....	33
Tabel 4.9 <i>Span</i> Sensor SMS	34
Tabel 4.10 Nilai Linearitas Sensor SMS	34
Tabel 4.11 Nilai Sensitivitas Sensor SMS.....	35
Tabel 4.12 Nilai Hysteresis Sensor SMS	35
Tabel 4.13 Nilai Resolusi Sensor SMS	36
Tabel 4.14 Standar Deviasi Sensor SMS.....	36
Tabel 4.15 Perbandingan Karakteristik	37

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Serat optik mempunyai peran besar dalam bidang teknologi industry, sebagai media untuk transmisi data teknologi yang kita anggap esensial ini memiliki masa degradasi yang sulit untuk diperkirakan, yang mengakibatkan kegagalan alat yang mengakibatkan kerugian yang cukup besar jika kegagalan terjadi[1]. Baterai *lithium ion* yang dapat di isi ulang adalah contoh dari kemajuan yang disebutkan sebelumnya dan memiliki densitas energi yang paling tinggi yang dapat diperoleh di pasar, juga paling aman serta memiliki kemajuan dalam bidang material yang paling terpercaya[2].

Baterai Li-ion telah menjadi penyimpanan energi paling penting untuk berbagai macam alat elektronik, seperti telepon genggam, laptop, alat elektronik bidang medis, aeronautika dan militer. Baterai Li-ion ini juga menjadi masa depan dalam sumber energi penggunaan mobil listrik. Baterai juga menjadi energi utama dalam tenaga penerbangan dan operasi dimana pengukuran penggunaan energi[2], cadangan serta pemakaian memiliki pengaruh besar dalam semua penggunaan energi. Untuk memberikan yang diperlukan konsumen, banyak aplikasi elektronik ini membutuhkan teknologi isi ulang atau membutuhkan cadangan energi sekunder untuk memiliki siklus hidup baterai yang panjang, tinggi secara volumetrik serta dalam densitas energi gravimetrik dan besar kapabilitas tenaga[2].

Permasalahan yang paling pertama dan menantang dalam merancang sistem baterai Li-ion adalah memastikan keamanan dalam kondisi operasi normal dan operasi berlebih. Dalam tujuan untuk memperoleh Informasi dari sifat termal internal yang sangat diperlukan. Permasalahan utama yang muncul umumnya terletak pada variasi suhu saat *charge/discharge* dalam masing-masing kelajuan[3].

Kesalahan memonitor dapat mengakibatkan meledaknya atau terbakarnya baterai. Manajemen termal yang baik dibutuhkan dan perlu ditingkatkan masa hidup baterai Li-ion, esensial untuk memonitor kondisi suhu baterai secara eksternal maupun internal. Umumnya pengukuran suhu baterai menggunakan termokopel atau sensor elektromekanik[5].

Konfigurasi serat optik yang digunakan berupa serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode*. Konfigurasi serat optik berstruktur SMS memiliki kemudahan dalam fabrikasi, sensitivitas yang baik, dan dapat diterapkan. Di dalam serat optik berstruktur SMS terjadi fenomena *multimode* interference (MMI), merupakan fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang di dalam susunan *core* dan *cladding* pandu gelombang[1].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana merancang sensor suhu baterai *lithium ion* (Li-ion) berbasis *singlemode-multimode-singlemode*(SMS)

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian dan permasalahan pada tugas akhir ini diperlukan beberapa batasan masalah. Adapun batasan masalah sebagai berikut :

- Serat optik yang diujikan *singlemode-multimode-singlemode*(SMS)
- *Multimode* yang digunakan adalah jenis step-index
- Panjang gelombang yang digunakan adalah 1550 nm
- Suhu yang digunakan memiliki rentang 26°C - 32°C
- Sumber panas berasal dari subjek uji baterai Li-ion
- Besar arus yang digunakan adalah 3A
- Suhu saat pengukuran suhu ruangan (26.3°C) dan suhu kontrol (25.2°C)

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Tujuan tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sensor suhu berbasis *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) untuk memonitor perubahan suhu pada baterai.
- Menentukan karakteristik sensor berdasarkan variasi panjang *multimode* pada serat optik SMS.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sensor

Sensor merupakan elemen pertama yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari masukan besaran fisis tertentu. Adapun sistem pengukuran secara umum dibangun dengan empat komponen utama, yaitu sensor, pengondisian sinyal, pemrosesan sinyal dan *display*[5].

Sensor memiliki beberapa karakteristik statis yang dijadikan sebagai tolok ukur performansi di dalam sistem pengukuran, diantaranya adalah sebagai berikut Karakteristik sensor dibagi menjadi dua yaitu karakteristik statik dan dinamik. Karakteristik statik ditentukan oleh sifat sensor yang perubahan responnya tidak berubah terhadap waktu. Beberapa hal yang termasuk karakteristik statik meliputi *Range*, *Span*, Linieritas, Sensitivitas, Resolusi, Akurasi dan Presisi[5]. Dibahas detail sebagai berikut:

a. *Range*

Range merupakan nilai minimal dan nilai maksimal masukan (I_{min}, I_{max}) dan Keluaran (O_{min}, O_{max}) sensor[5].

b. *Span*

Span adalah variasi maksimum dari nilai masukan atau input dan nilai keluaran atau output. Input span dinyatakan dengan $I_{max} - I_{min}$ dan output span dinyatakan dengan $O_{max} - O_{min}$ [5].

c. Linieritas

Linieritas merupakan karakteristik ideal dari sistem pengukuran. Suatu hasil pengukuran dapat dikatakan linier ketika nilai masukan dan keluaran bersesuaian dalam satu garis, titik minimal A (I_{min}, O_{min}) terhubung pada titik B (I_{max}, I_{min})[5].

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (2.1)$$

d. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan slope dari kurva kalibrasi yang menghubungkan antara sinyal input dan sinyal output. Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila responnya linier, maka sensitivitas yang dihasilkan juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Sensitivitas merupakan perbandingan antara perubahan output dengan perubahan input dari suatu sistem pengukuran[5].

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{Outputmax} - \text{Outputmin}}{\text{Inputmax} - \text{Inputmin}} \quad (2.2)$$

e. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan terkecil dari nilai input yang menghasilkan perubahan yang mampu dideteksi oleh instrumen output. Selain itu, resolusi juga dapat dinyatakan sebagai kemampuan suatu sensor untuk membedakan nilai terkecil dari pembacaan sensor[5]. Resolusi sensor (R) dapat didefinisikan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\text{Resolusi} = \frac{StD}{\text{Sensitivitas}} \quad (2.3)$$

f. Akurasi

Akurasi merupakan kemampuan sebuah alat ukur untuk menunjukkan kebenaran suatu nilai yang dihasilkan dari pengukuran kuantitatif[5].

g. Hysterisis

Jika terdapat nilai input dan terdapat perbedaan output ketika nilai input bertambah dibandingkan ketika nilai input berkurang. Hysteresis merupakan perbedaan antara kedua nilai output tersebut[5].

$$\text{Hysteresis } H(I) = O(I)_n - O(I)_n \quad (2.4)$$

Hysteresis pada umumnya dihitung dalam bentuk nilai maksimum hysteresis H, sehingga dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\text{Max.hysteresis} = \frac{H}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \quad (2.5)$$

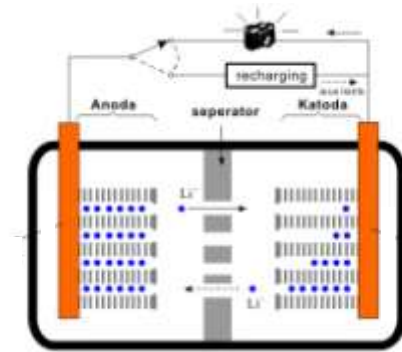
2.2 Baterai *Lithium Ion* (Li-ion)

Baterai *lithium ion*(Li-ion)terbuat dari kompartemen yang disebut sel. Setiap sel terdiri dari tiga komponen: elektroda positif, elektroda negative dan kimia elektrolit yang dibawah sel sel yang ada. Elektroda positif terbuat dari campuran kimia yang bernama *lithium cobalt oxide*(LiCoO₂) atau lithium iron phosphate (LiFePO₄). Elektroda negatifnya terdiri dari karbon (graphite) dan elektrolit variasi jenisnya dalam setiap baterai. Semua baterai ion kurang lebih bekerja dalam sifat tersebut[6].

Seperti yang sudah dijelaskan diawal, anoda terdiri dari 2 bagian yaitu bagian pengumpul elektron dan material aktif. Untuk bagian pengumpul elektron biasanya menggunakan

lapisan film tembaga, selain stabil (tidak mudah larut), harganya pun murah. Sedangkan pada bagian material aktif, tidak menggunakan logam litium secara langsung, namun menggunakan material karbon (LiC_6)[6].

Hal ini dikarenakan, sulitnya mengontrol reaksi litium pada permukaan elektroda bila memakai logam litium secara langsung. Material LiC_6 adalah grafit dimana disetiap layer/lapisan disisipkan logam litium. Kepadatan energinya dari material ini berkisar 339~372 A h/kg. Saat ini, LiCoO_2 umum digunakan sebagai bahan katoda baterai litium ion, yang memiliki kapasitas energi secara teori sebesar 137 A h/kg. Walaupun demikian material komposit ini terbilang tidak stabil dan relatif mahal. Logam Co termasuk logam yang sulit didapat, sehingga relatif mahal bila dibanding logam transisi lainnya, seperti Mn, Fe dan Ni. Selain itu, LiCoO_2 tidaklah sestabil material katoda lainnya dan bisa mengalami penurunan kualitas secara drastis bila terjadi pengisian ulang yang berlebihan. Karena itu, diperlukan alternatif material katoda yang murah dan stabil[3].



Gambar 2.1 Baterai Li-ion[3]

Sebuah baterai bekerja dengan kondisi yang khusus dengan kerja kondisi operasional dan lingkungan. Ketidakpastian kemampuan baterai mengancam permasalahan untuk implementasi suatu fungsi. *Monitoring* suhu di sel sangat penting untuk mencegah *overheating* baterai[3].

2.3 Serat Optik *Step-Index*

Serat Optik adalah pemandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang terbuat dari bahan dielektrik yang memiliki *loss* rendah, seperti silika. Secara umum, serat optik terdiri dari dua bagian yaitu *core* sebagai pemandu gelombang cahaya, dan *cladding* sebagai lapisan terluar dengan nilai *index* biar lebih rendah daripada *core*[8].

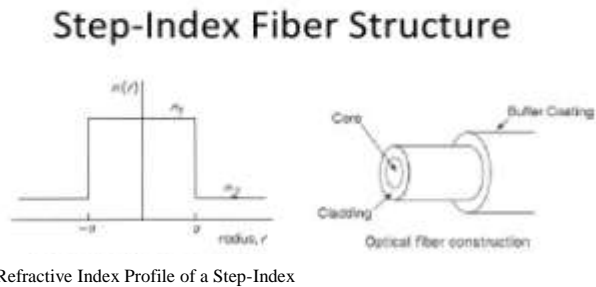
$$\phi_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.6)$$

dimana:

n_1 adalah indeks bias *core*

n_2 adalah indeks bias *cladding*

Untuk $n_1 > n_2$ jika sudut datang sinar lebih kecil dari pada sudut kritis. Transmisi cahaya didalam serat optik bergantung pada profil index bias serat optik. Serat optik jenis step index mempunyai profil index bias tak terhingga. Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai index bias core yang seragam dan lebih besar dari pada nilai index bias cladding ada di dalam serat optik[8].



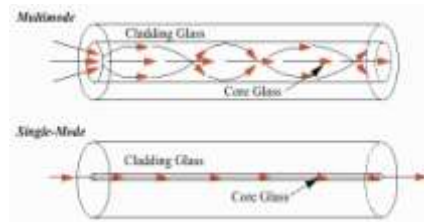
Gambar 2.2 Gambar struktur fiber *step-index*[8]

Berdasarkan penjaran moda, serat optik *step-index* terbagi menjadi dua yaitu serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*. Penjaran moda di dalam serat optik dipengaruhi oleh ukuran diameter *core* serat optik penjaran moda serat optik jenis *singlemode* dan jenis serat optik jenis *multimode*[8].

2.4 Serat Optik Singlemode dan Multimode

Serat optik umumnya memiliki 2 jenis struktur yaitu *singlemode* dan *multimode*. Gelombang cahaya berbentuk silinder yang terbuat dari serat optik *singlemode* identik yang disambungkan secara aksial pada kedua ujung serat optik *multimode*. Fiber optik *singlemode* memiliki moda transmisi tunggal berupa garis lurus. Fiber optik *multimode* memiliki moda transmisi berbelok-belok karena indeks bias yang bervariasi. Diameter *core* serat optik

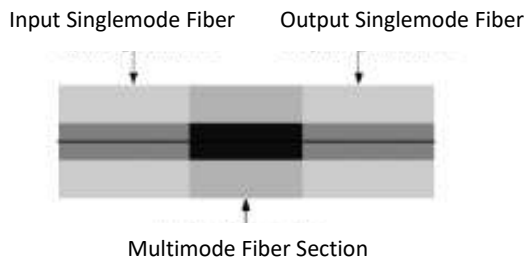
singlemode step-index sebesar 8-10 μm , sedangkan untuk diameter *core* serat optik *multimode step-index* sebesar 50-100 μm . Perbedaan nilai index bias *core* dan *cladding* sangat kecil, sehingga perubahan indeks bias yang terjadi sangat kecil[9].



Gambar 2.3 Struktur *singlemode* dan *multimode*[9]

2.5 Serat Optik Berstruktur SMS

Serat optik berstruktur SMS merupakan serat optik yang terdiri dari dua serat optik *singlemode* identik yang disambung secara aksial pada kedua ujung serat optik *multimode*[10].



Gambar 2.4 Struktur serat optik SMS[3]

Fenomena pandu gelombang di dalam serat optik berstruktur SMS ini dapat dijelaskan melalui modal *propagation analysis* (MPA). Pandu input cahaya *multimode* ($z=0$) diasumsikan mempunyai distribusi diasumsikan mempunyai distribusi medan $\psi(r,0)$ yang sebanding dengan moda *fundamental* pada

singlemode dengan moda dasar yang terpandu adalah LP₀₁. Sedangkan profil medan di dalam *multimode* diasumsikan sebagai $\psi_M(r)$ [10].

Telah diketahui bahwa serat optik SMS mampu diimplementasikan sebagai sensor. Diantara aplikasi SMS adalah sebagai sensor vibrasi, sensor lekukan, sensor indeks bias atau bio-sensor[8]. *Transmission loss* dari serat optik struktur SMS adalah sebagai.

$$P_{out}(L) = 10 \log \left(\left| \sum_{n=1}^N \eta_n^2 \exp(j\beta_n L) \right|^2 \right) \quad (2.7)$$

dimana L adalah panjang MMF, η_n dan β_n adalah koefisien eksitasi dan konstanta propagasi dari mode LP₀₁, dan N adalah total jumlah mode yang terpandu didalam serat MMF.

2.6 Fusion Splicer

Fusion splicing adalah penyambungan atau penggabungan dua ujung serat optik dengan menaikkan suhu. Tujuannya adalah untuk memadukan dua serat bersama-sama sedemikian rupa sehingga sinar yang melewati tidak terserbar. Proses *splicing* melibatkan reaksi fusi yang menggunakan panas untuk melelehkan ujung dari dua serat optik secara bersama-sama. Proses *splicing* dilakukan pada semua lapisan pelindung dikupas dari ujung serat masing-masing, yang disebut *stripping*[9].

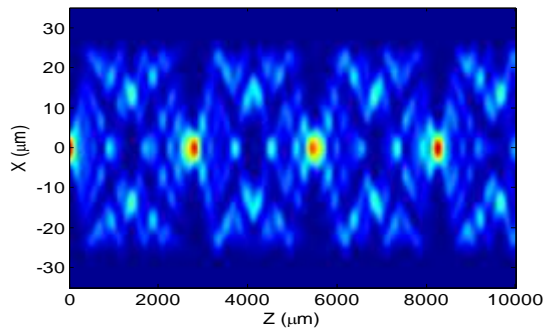


Gambar 2.5 *Fusion splicer*[9]

Dilakukan proses penyambungan(*fusion*) yang merupakan penyambungan fiber yang oleh dua elektroda. Pemeriksaan mikroskop membantu dalam penempatan ujung serat. Serat yang ditempatkan ke dalam *apparatus*, selaras, dan kemudian tersambung.

2.7 Interferensi Multimode

Fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang dalam susunan *core* dan *cladding* mengakibatkan interferensi internal sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang keluar dari *core* secara periodik[10].



Gambar 2.6 Interferensi *multimode*[10]

2.8 Pengaruh Suhu Terhadap Sensor

Suhu merupakan salah satu besaran fisis yang dapat dirasakan secara langsung oleh tubuh manusia melalui mekanisme perpindahan panas. Perpindahan panas terjadi sebagai akibat satu atau lebih dari tiga kemungkinan jenis mekanisme perpindahan panas yaitu konduksi, radiasi, dan konveksi. Konduksi merupakan faktor utama perpindahan panas yang dialami oleh benda padat. Sebuah benda padat dapat dianggap sebagai rantai atom yang saling berhubungan, maka peningkatan suhu disalah satu ujung dari benda padat akan menyebabkan atom-atom bergetar dan menimbulkan amplitudo, energi getaran ini akan menjalar ke atom-atom berikutnya sampaimenuju atom yang terakhir pada rantai. Proses tersebut akan mengakibatkan perpindahan panas ke ujung dari salah satu bentuk lain dari sebuah padatan[5]. Zat padat pada dasarnya akan mengalami perubahan dimensi ketika mengalami perubahan suhu. Pada saat mengalami kenaikan suhu, zat padat akan memuai. Sebaliknya jika zat padat mengalami penurunan suhu maka dimensinya akan menyusut. Sesuai dengan sifat tersebut, serat optik juga akan mengalami perubahan jari-jari dan juga panjang[11]. Perubahan dimensi tersebut akan mengakibatkan perubahan indeks bias inti dan kulit serat optik yang dinyatakan dengan:

$$n_{(inti,kulit)_T} = n_{(inti,kulit)_0} + \xi \cdot n_{(inti,kulit)_0} \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

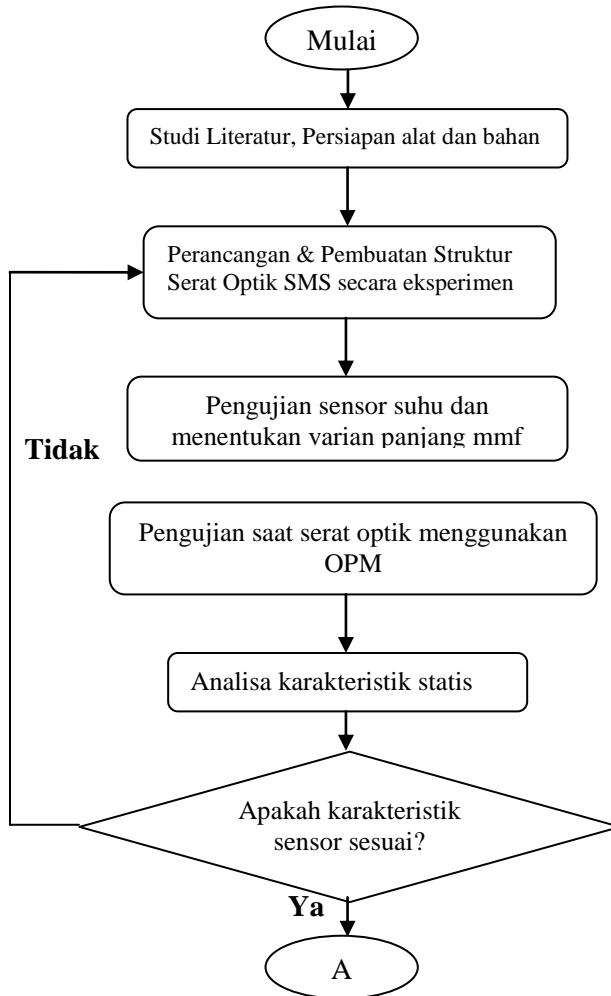
dimana $n_{(inti,kulit)_T}$ adalah indeks bias inti dan kulit serat setelah mengalami perubahan suhu, $n_{(inti,kulit)_0}$ adalah indeks bias awal, dan ξ adalah koefisien termo optik, dan ΔT adalah perubahan suhu. Perubahan suhu akan berpengaruh pada indeks bias dan dimensi dari *core-cladding*. Sebagai akibatnya pola interferensi diantara mode pada serat *multimode* juga akan berubah, dengan demikian respon daya *output* juga berubah.

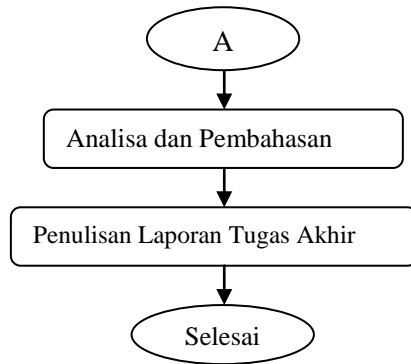
Efek suhu pada serat optik dipengaruhi oleh dua parameter yaitu Koefisien Ekspansi Termal (TEC) yang menunjukkan adanya kontraksi volum material dan Koefisien Termo Optik (TOC) yang menunjukkan perubahan indeks bias[10].

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

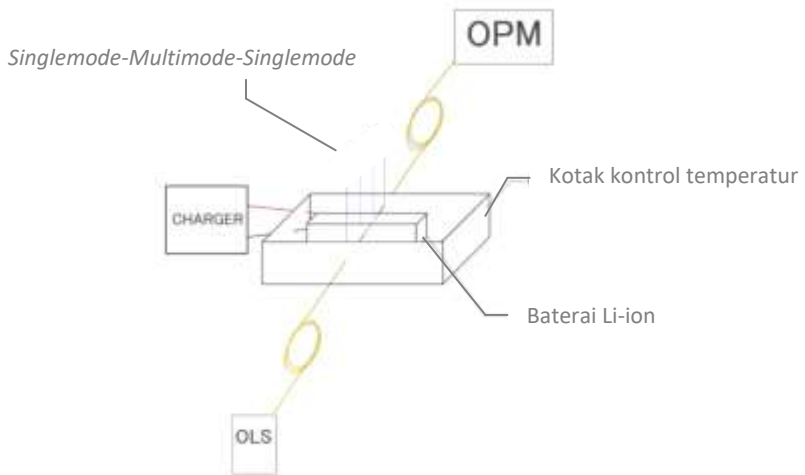




Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Secara umum metode yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Menentukan bahan yang diperlukan dan akan digunakan dalam pembuatan sensor serat optik berbasis SMS.
- Menentukan peralatan yang digunakan dalam pengerjaan pembuatan dan pengujian sensor yang telah dibuat.
- Menentukan pengujian yang akan digunakan pada penelitian ini. Mulai dari awal penelitian tugas akhir ini sampai penyimpulan dari akhir proses yang telah dilakukan.



Gambar 3.2 Diagram alur pengujian

3.2 Peralatan dan Bahan

Bahan bahan yang digunakan untuk pembuatan sensor suhu adalah:

- Serat Optik *Singlemode* dan *Multimode FG025LJA*
Serat optik digunakan adalah *singlemode* dan *multimode step-index*. Diameter *core* 25 μm , *cladding* 125 μm . *Multimode* yang digunakan adalah jenis *step-index*.
- *Pigtail*
Bahan serat optik yang digunakan untuk pembacaan serat optik dan penghubung terhadap *optical light source*.
- Alkohol
Digunakan untuk pembersihan serat optic yang telah dipotong sebelum dihubungkan melalui *fusion splicer*.

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan sensor berbasis SMS sebagai berikut:

- *Digital Thermometer BG 32*
Alat yang digunakan sebagai acuan suhu utama dan

menjadi pembanding sensor yang dibuat dapat membaca $(-20)^{\circ}\text{C}$ - 320°C dan resolusi 0.5°C .

- **Baterai Li-ion ACO 5C**
Objek pengujian, baterai *lithium ion* yang memiliki kapasitas 2200 mAh dan memiliki 5 sel.
- ***Charging Station* G.T Power**
Alat yang digunakan untuk charging dan discharge. Memiliki sistem kontrol baterai untuk mengatur arus.
- ***Fusion Splicer* Z1C Sumitomo Electric**
Alat ini dipergunakan untuk menyambung serat optik. Dalam hal ini yang disambung adalah serat optik singlemode dan multimode, sehingga terbentuk SMS.
- ***Fiber Cleaver***
Digunakan untuk memotong singlemode dan multimode agar terpotong dengan rapih.
- ***Optical Light Source* JW3019**
Alat ini digunakan sebagai sumber cahaya sensor serat optik SMS dalam pengujian yang menggunakan panjang gelombang 1550 nm.
- ***Optical Power Meter* Thorlabs PM-100D**
Alat ini digunakan untuk mengukur besar rugi (loss) pada sensor serat optik uji dengan range (-70) dBm - 5 dBm.
- **Komputer dan USB to OPM**
Alat ini digunakan untuk membaca dan mengolah data karakteristik sensor serat optik SMS.

3.3 Perancangan & Pembuatan Sensor

Proses ini merupakan tahap dimana penentuan panjang *multimode* yang akan digunakan penulis. Penentuan dilakukan dengan mengukur ukuran baterai Li-ion dan menentukan penempatan serat optik pada baterai Li-ion. Proses pembuatan sensor ini dilakukan dengan penyambungan dua serat optik, *multimode* dan

singlemode. Pertama kedua serat optik diambil dengan panjang tak tertentu dari gulungan *pigtail* dan *roll* serat optik. *Multimode* dikupas dan dipotong menggunakan fiber stripper lalu dipotong dengan rapih menggunakan *fiber cleaver*.

Setelah pemotongan dilakukan, *multimode* dibersihkan dengan alkohol untuk memastikan *cladding* bersih dan serat optik tidak tertutupi kotoran atau debu. *Pigtail* berupa *singlemode* diperlakukan sama dan disambungkan sehingga bentuk serat optik menjadi *singlemode-multimode-singlemode*.

3.4 Pengujian Sensor Serat Optik SMS

Sensor suhu yang telah disambung dan didapat varian dari ukuran baterai Li-ion dan penempatan serat optik. diuji. Dengan dipasang terhadap *optical power meter* hingga *optical light source*-nya untuk mengetahui innate loss sensor optik SMS yang telah dibuat. Ketika sensor sudah layak dari uji *loss*, sensor optik siap digunakan dalam eksperimen.

Setelah diketahui bahwa sensor telah bekerja, yaitu terdapat perubahan rugi daya ketika suhu dinaikkan dan dibiarkan mendingin. Panjang *multimode* yang digunakan adalah 2 cm, 3 cm dan 4 cm. Proses selanjutnya adalah pengambilan data menggunakan OPM. Dikirimkan ke komputer dan dibaca untuk diproses lebih lanjut. Proses pengambilan data dari OPM, menggunakan koneksi serial. Setelah menggunakan kabel *serial*, maka disambung ke *USB to Serial* untuk disambungkan ke *notebook*.

3.5 Karakteristik Statis Sensor Serat Optik SMS

Karakteristik dilakukan untuk mengetahui hubungan sensor dan suhu riil yang diukur dengan sensor inframerah dan mengetahui nilai suhu dengan besarnya *loss* pada serat optik. Perhitungan karakteristik sensor ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui performansi dari sensor yang telah dibuat. Dicari juga statistiknya berupa standar deviasi dari nilai *loss* yang didapat dari ketiga sensor untuk menghitung resolusi masing-masing sensor.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat. Variasi panjang serat optik *multimode* yang dibuat yaitu 2 cm, 3 cm, 4 cm dengan panjang gelombang 1550nm. Pengujian suhu dilakukan dengan suhu ruangan 26,3°C dan suhu dalam 25,2°C. Karakteristik sensor didapat dari data-data yang diambil selama eksperimen, dari data suhu dan rugi (*loss*) serat optik *multimode* pada struktur SMS.

4.1 Pengujian Serat Optik SMS Panjang *Multimode* 2 cm

Pada pengambilan dan pengujian ini, dilakukan perlakuan berupa *charged* dengan panjang *multimode* 2 cm.

Tabel 4.1 Suhu – Daya Keluaran Panjang *Multimode* 2 cm

Suhu (°C)	Daya Keluaran (dBm)
26	-17.02
26.5	-16.52
27	-16.12
27.5	-15.83
28	-15.47
28.5	-15.29
29	-14.9
29.5	-14.67
30	-14.51
30.5	-14.26
31	-14.09
31.5	-13.88
32	-13.58

Pengujian ini diharap untuk mendapat data suhu dilakukan hingga mendapat nilai linieritas paling tinggi. Dari gambar 4.1 dan tabel 4.1 didapat pengujian sensor yang dilakukan rentang 26°C sampai 32°C. Panjang serat optik jenis *multimode* yang digunakan adalah 2 cm. Pengujian dilakukan dengan menaikkan suhu dengan *caracharge* baterai Li-ion. Pengambilan ini dilakukan untuk membandingkan suhu yang diambil pada thermometer inframerah, mendapatkan linieritas suhu dengan daya keluaran dan data karakteristik sensor optik lainnya. Dari gambar tersebut respon daya keluaran semakin sedikit seiring naiknya suhu. $R^2=0,982$ menunjukkan linearitas yang mendekati 100 yaitu 98,24. Dari sekian pengambilan data, data ini memiliki linieritas tertinggi.

4.2 Pengujian Serat Optik SMS Panjang *Multimode* 3 cm

Pada pengambilan dan pengujian ini, dilakukan perlakuan berupa *charge* dan pendinginan baterai dengan SMS panjang mmf 3 cm. Pengujian ini diharap untuk mendapat data suhu dilakukan hingga mendapat nilai linieritas paling tinggi.

Perbandingan terlihat dengan panjang MMF 2 cm dimana daya keluaran lebih rendah dibandingkan panjang MMF 3 cm. Dari gambar 4.2 dan tabel 4.2 didapat pengujian sensor yang dilakukan rentang 26°C sampai 32°C. Panjang serat optik *multimode* yang digunakan adalah 3 cm. Pengujian dilakukan dengan menaikkan suhu dengan cara *charge* baterai Li-ion.

Tabel 4.2 Suhu – Daya Keluaran Panjang *Multimode* 3 cm

Suhu (°C)	Daya Keluaran (dBm)
26	-25.45
26.5	-25.07
27	-24.73
27.5	-24.43
28	-24.15
28.5	-23.94
29	-23.7
29.5	-23.38
30	-23.18
30.5	-22.94
31	-22.79
31.5	-22.66
32	-22.59

Pengambilan ini dilakukan untuk membandingkan suhu yang diambil dari termometer inframerah, lalu mendapatkan linieritas suhu dengan daya keluaran dan data karakteristik sensor optik lainnya. Dari gambar tersebut respon daya keluaran semakin sedikit seiring naiknya suhu. $R^2=0,98$ menunjukkan linearitas yang mendekati 100 yaitu 98,03. Dari sekian pengambilan data, data ini memiliki linieritas tertinggi dari daya keluaran. Rentang dari daya keluaran cukup signifikan perubahannya yaitu dengan range -25,45 sampai -22,59 yang menunjukkan daya keluaran lebih rendah dibanding panjang *multimode* 2 cm.

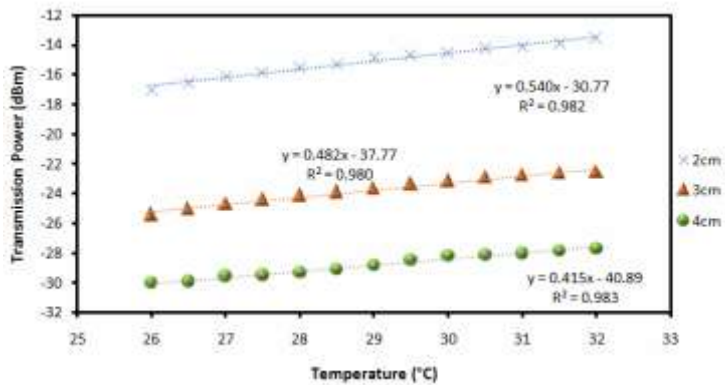
4.3 Pengujian Serat Optik SMS Panjang *Multimode* 4 cm

Pengambilan dan pengujian panjang terakhir, yaitu panjang mmf 4 cm, dilakukan perlakuan berupa *charge* dan pendinginan baterai dengan SMS panjang *multimode* 4 cm. Pengujian ini diharap untuk mendapat data suhu dilakukan hingga mendapat nilai linieritas paling tinggi.

Tabel 4.3 Suhu – Daya Keluaran Panjang *Multimode* 4 cm

Suhu (°C)	Daya Keluaran (dBm)
26	-30.07
26.5	-29.92
27	-29.64
27.5	-29.5
28	-29.39
28.5	-29.12
29	-28.83
29.5	-28.47
30	-28.21
30.5	-28.12
31	-28.04
31.5	-27.87
32	-27.73

Rentang dari daya keluaran yaitu dengan range -30,07 sampai -27,73 yang sangat *visible* perbedaannya dibandingkan dengan panjang MMF 2 cm dari -15,38.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan daya keluaran - suhu panjang *multimode* 2 cm, 3 cm, 4 cm

Terlihat dari ketiga panjang multimode 2 cm, 3 cm, 4 cm nilai dari ketiganya memiliki tren naik, semakin kecil lossnya dan semakin besar daya keluarannya seiring suhu yang naik.

Indeks bias serat optik, kulit dan inti dari *multimode* mengalami perubahan yang mengakibatkan secara langsung keluaran daya dari SMS. Perubahan terjadi karena panjang serat optik serta propagasi yang berubah dari naiknya suhu dalam rentang yang terukur. Indeks bias yang terpengaruh terjadi karena frekuensi yang mengakibatkan moda moda transmisi semakin banyak sehingga daya keluaran semakin tinggi.

Pendekatan dapat disimpulkan dengan melihat grafik masing-masing panjang *multimode* dari setiap sensor. Dari pengujian yang dilakukan didapat sensor yang memiliki performansi terbaik yaitu sensor dengan panjang serat optik panjang *multimode* 2 cm dengan karakteristik nilai *range* 26-32 °C, *span* 6 °C, sensitivitas 0,5408 dB/°C, *hysteresis* 6,63%, resolusi 0,046°C, standar deviasi 0,0777.

4.4 Pengujian Perbandingan Suhu *Increasing-Decreasing*

Pengujian ini didapat dari *charge* dan pendinginan baterai Li-ion. Baterai Li-ion didapatkan mengalami *increasing* (kenaikan) saat di *charge* dan *decreasing* (penurunan) saat didinginkan.

Tabel 4.4 Suhu *Increasing (Charging)*

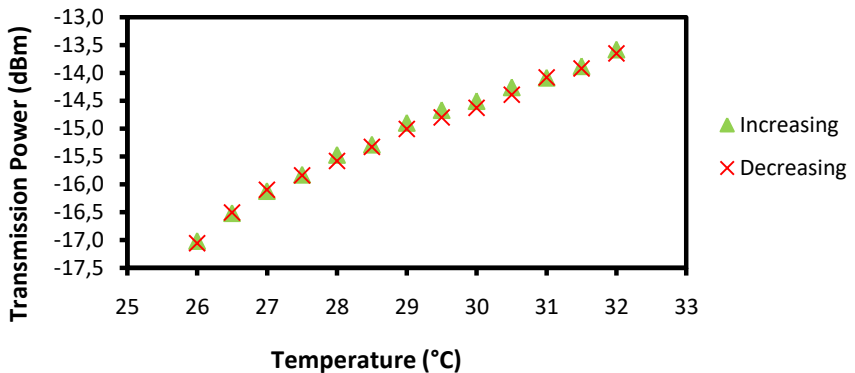
Suhu (°C)	2 cm	3 cm	4 cm
26	-17.02	-25.45	-30.07
26.5	-16.52	-25.07	-29.92
27	-16.12	-24.73	-29.64
27.5	-15.83	-24.43	-29.5
28	-15.47	-24.15	-29.39
28.5	-15.29	-23.94	-29.12
29	-14.9	-23.7	-28.83
29.5	-14.67	-23.38	-28.47
30	-14.51	-23.18	-28.21
30.5	-14.26	-22.94	-28.12
31	-14.09	-22.79	-28.04
31.5	-13.88	-22.66	-27.87
32	-13.58	-22.59	-27.73

Data ini diperoleh dari kenaikan/*charge* dari baterai sebesar 3 A, *charging* dilakukan selama 3 jam. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai *hysteresis* dari sensor yang telah dibuat. Dari gambar tersebut naik dan turunnya *loss* kurang lebih sesuai dengan naik dan turunnya suhu.

Tabel 4.5 Suhu *Decreasing* (Dibiarkan)

Suhu (°C)	2 cm	3 cm	4 cm
26	-13.65	-22.56	-27.79
26.5	-13.92	-22.68	-27.9
27	-14.08	-22.82	-28.09
27.5	-14.39	-22.94	-28.12
28	-14.63	-23.27	-28.27
28.5	-14.8	-23.39	-28.56
29	-15.01	-23.62	-28.97
29.5	-15.33	-23.85	-29.21
30	-15.58	-23.98	-29.46
30.5	-15.84	-24.29	-29.62
31	-16.10	-24.57	-29.71
31.5	-16.51	-24.86	-30.01
32	-17.06	-25.21	-30.13

Data ini diperoleh dari baterai yang didiamkan mendingin. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai *hysteresis* dari sensor yang telah dibuat. Dari gambar tersebut turun dan turunnya *loss* kurang lebih sesuai dengan naiknya suhu.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan *increasing-decreasing* panjang *multimode* 2 cm

Increasing dan *decreasing* dari panjang *multimode* 2 cm memiliki kecocokan paling tinggi. Sehingga bertambah bukti bahwa *multimode* dengan panjang 2 cm adalah panjang yang paling baik dibanding dari ketiga panjang.

Pada pengukuran saat perubahan suhu, semakin naiknya suhu saat *chargemaka* indeks bias kulit dari serat optik *multimode* juga mengalami kenaikan. Perubahan nilai indeks bias udara akan secara langsung mempengaruhi keluaran daya dari serat optik SMS.

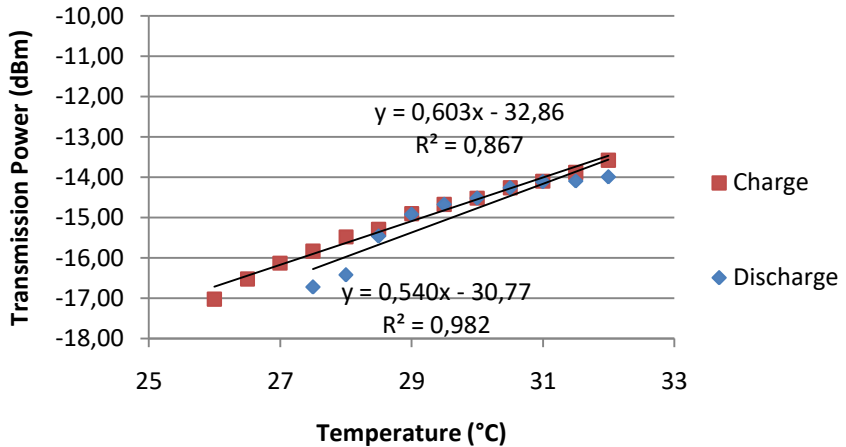
Terlihat bahwa faktor yang mempengaruhi transmisi daya yang hilang dipengaruhi oleh perubahan indeks bias karena perubahan suhu atau kenaikan suhu. Semakin besar nilai indeks bias semakin besar moda yang terkirim atau *loss* yang lebih sedikit. Perubahan indeks bias yang efektif akan mengakibatkan nilai *loss* yang berubah.

4.5 Percobaan *Discharge*

Percobaan *discharge* dilakukan untuk melihat perbandingan saat *charge-discharge*. Perbedaan pengujian saat *discharge* cukup terlihat karena suhu awal dengan pengeluaran *discharge* 3 A diawali dengan suhu 27.5°C dan bukan saat 26°C

Tabel 4.6 Suhu – Daya Keluaran *Discharge*
Panjang *Multimode* 2 cm

Suhu (°C)	Daya Keluaran (dBm)
26	-
26.5	-
27	-
27.5	-16.72
28	-16.42
28.5	-15.46
29	-14.92
29.5	-14.67
30	-14.51
30.5	-14.26
31	-14.11
31.5	-14.09
32	-13.99



Gambar 4.3 Grafik *charge-discharge* panjang *multimode* 2 cm

Terlihat perbandingan *discharge* dan *charge* cukup terlihat pada awal *discharge*. Diikuti dari pengukuran sensor inframerah dimulai dari suhu yang lebih tinggi, yang disebabkan oleh sel baterai yang sudah terisi daya. Terjadi loncatan daya dan penyesuaian kembali yang menyesuaikan dengan grafik *charge*.

4.6 Pengujian Stabilitas Nilai Suhu dan Waktu

Diuji stabilitas nilai dalam waktu setiap detik dalam kurun waktu 160 detik untuk batas uji suhu untuk mengetahui fluktuasi *loss*. Didapat dari suhu 26-32°C grafik cukup stabil dengan fluktuasi *loss* yang tidak terlalu menampak diantara 0,01-0,02 dBm akan diterakan pada lampiran.

4.7 Pengujian Karakteristik Sensor SMS

Pada pengujian karakteristik sensor SMS akan dihitung nilai karakteristik dari sensor yang telah dibuat. Karakteristik sangat penting untuk mengetahui performansi dan kinerja dari sensor atau alat ukur tersebut. Karakteristik statik yang dihitung meliputi *range*, *span*, linieritas, sensitivitas, *hysteresis* dan resolusi. Sedangkan untuk standard deviasi dilakukan perhitungan untuk masing masing panjang 2 cm, 3 cm dan 4 cm.

a. *Range*

Range adalah jangkauan variable dari suatu alat ukur sensor pada nilai minimum dan maksimum. Range dapat diartikan sebagai rentang ukur kerja suatu alat ukur. Diluar itu dapat tidak dapat bekerja dengan baik. Nilai range pada masing masing panjang *multimode* dapat dilihat sebagai tabel berikut.

Tabel 4.7 *Range*Sensor SMS

L (cm)	Range Input Suhu(°C)	Range Output Rugi (dBm)
2	26-32	-13.58 – (-17.65)
3		-22.56 – (-25.45)
4		-27.73 – (-30.13)

Dari tabel 4.6 tersebut terlihat semua sensor memiliki rentang input termperatur yang sama karena merupakan batasan masalah dan sensor dapat membaca rentang 26-32°C. Sensor yang memiliki *loss* paling besar adalah sensor dengan panjang *multimode* 4 cm dan yang memiliki *loss* paling kecil adalah sensor 2 cm.

b. *Span*

Span adalah selisih antara nilai maksimum dan minimum yang dapat diukur oleh alat ukur. Nilai pada masing-masing sensor dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.8 *Span* Sensor SMS

L (cm)	Span Input Suhu(°C)	Span Output Rugi (dBm)
2	6	4.07
3		2.81
4		2.4

Dari tabel 4.8 terlihat semua sensor memiliki jumlah span yang sama. Terlihat juga yang memiliki span output paling tinggi adalah panjang *multimode* 2 cm. Maka yang paling baik adalah panjang *multimode* 2 cm dibanding yang lainnya.

c. Linearitas

Linearitas adalah nilai hubungan antara input dan output mengikuti persamaan garis lurus. Garis lurus yang ideal dengan nilai maksimum A hingga nilai maksimum B sesuai. Masing-masing linearitas dapat dilihat dalam sebagai berikut.

Tabel 4.9 Nilai Linearitas Sensor SMS

L(cm)	Linieritas
2	98.24
3	98.03
4	98.33

Dari tabel 4.9 didapat bahwa ketiga panjang *multimode* lebih dari ideal. Dari ketiga panjang linearitas didapat panjang *multimode* 4 cm merupakan panjang *multimode* yang paling baik.

d. Sensitivitas

Sensitivitas adalah laju perubahan output dengan bergantung pada input.

Tabel 4.10 Nilai Sensitivitas Sensor SMS

L(cm)	Sensitivitas (dB/°C)
2	0.5408
3	0.4829
4	0.4158

Dari tabel 4.10 terlihat bahwa nilai sensitivitas tertinggi dimiliki oleh sensor dengan panjang *multimode* 2 cm. Sensor 2 cm memiliki sensitivitas paling tinggi, yaitu mampu mendeteksi perubahan rugi daya sebesar 0,5408 db setiap perubahan 1°C.

e. Hysteresis

Hysteresis disini merupakan perbedaan nilai output yaitu rugi daya sensor pada sensor yang diberi perlakuan dengan menaikkan tempertaur dan menurunkan suhu.

Tabel 4.11 Nilai *Hysteresis* Sensor SMS

L(cm)	<i>Hysteresis</i> (%)
2	6.63
3	7.93
4	9.83

Dari tabel 4.11 tersebut dilihat pada nilai hysteresis terkecil dimiliki oleh sensor dengan panjang *multimode* 2 cm. Artinya sensor dengan panjang *multimode* 2 cm adalah sensor yang paling bagus, yaitu memiliki perbedaan nilai loss dalam perubahan suhu paling sedikit.

f. Resolusi

Resolusi didefinisikan sebagai perubahan terbesar pada input yang terjadi. Perhitungan dilakukan dengan membagi skala terkecil pada alat ukur dengan nilai sensitifitasnya.

Tabel 4.12 Nilai Resolusi Sensor SMS

L(cm)	Resolusi (°C)
2	0.1438
3	0.1903
4	0.255

Dari tabel 4.12 tersebut dapat dilihat bahwa resolusi terkecil pada sensor panjang *multimode* 2 cm. Sensor yang memiliki resolusi paling baik adalah yang paling terkecil, sehingga panjang *multimode* paling baik adalah panjang 2 cm dengan resolusi 0,1438°C.

g. Standar Deviasi

Standar deviasi adalah kumpulan data sama dengan nol menunjukkan bahwa semua nilai-nilai dalam himpunan tersebut adalah sama. Sebuah deviasi yang lebih besar akan memberikan makna bahwa titik data individu jauh dari nilai rata-rata

Tabel 4.13 Standar Deviasi Sensor SMS

L(cm)	StD (dBm)
2	0.0777
3	0.0919
4	0.106

Dari tabel 4.13 tersebut dapat dilihat bahwa standard deviasi terkecil didapat pada sensor panjang *multimode* 2 cm. Sensor yang memiliki standard deviasi paling baik adalah yang paling

terkecil, sehingga panjang *multimode* paling baik adalah panjang 2 cm dengan standard deviasi 0,0777 dBm.

h. Perbandingan Karakteristik Sensor

Tabel 4.14 Perbandingan Karakteristik

L (cm)	R (°C)	Sp (°C)	Ln	Ss (dB/°C)	Hs (%)	Rs (°C)	StD (dB)
2	26-32	4.07	98.24	0.5408	6.63	0.1384	0.0777
3	26-32	2.81	98.03	0.4829	7.93	0.1903	0.0919
4	26-32	2.4	98.33	0.4158	9.83	0.255	0.106

Keterangan

L : Panjang serat optik *multimode*

R : *Range*

Sp : *Span*

Ln : Linearitas

Ss : Sensitivitas

Hs : Hysteresis

Rs : Resolusi

StD: Standar Deviasi

Karakteristik yang diperoleh dapat ditentukan variasi panjang *multimode* yang memiliki performasi terbaik. Dari tabel 4.14 tersebut dapat dilihat bahwa panjang *multimode* yang terbaik adalah panjang *multimode* 2 cm. Paling baik kedua adalah panjang *multimode* 3 cm.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dan berdasarkan tujuan telah ditetapkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Telah dirancang, dibuat dan diuji sebuah sensor pengukur suhu baterai Li-ion berbasis sensor serat optik SMS yang mampu mengukur perubahan suhu baterai Li-ion beserta karakteristik sensor.
2. Dari pengujian yang dilakukan didapat sensor yang memiliki performansi terbaik yaitu sensor dengan panjang serat optik panjang *multimode2* cm dengan karakteristik nilai *range* 26-32 °C, *span* 6 °C, sensitivitas 0,5408 dB/°C, *hysteresis* 6,63%, resolusi 0,046°C, Standar deviasi 0,0777

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis terkait dengan pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam penelitian tugas akhir ini dapat dilakukan pengujian dengan *rangedan span* suhu yang lebih besar dan suhu maksimal yang lebih tinggi dengan kontrol *charging station* yang berbeda.
2. Penelitan dapat dilakukandengan melakukan pengujian dengan nilai arus lebih tinggi dari 3A, jenis baterai yang berbeda dan menemukan varian panjang *multimode* yang lebih baik dari 2 cm dengan pengujian atau simulasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1]S. Novais, M. Nascimento, L. Grande, M. F.Domingues, P. Antunes, N. Alberto, C. Leitão, R. Oliveira, S. Koch, G. T. Kim, S. Passerini and J.Pinto, "Internal and External Temperature Monitoring of a Li-Ion Battery with Fiber Bragg Grating Sensors". 2016.
- [2]M.Oswal, J. Paul, "A Comparative Study of Lithium-Ion Battery", Mei, 2010.
- [3]Christopher D. Rahn, Chao-Yang Wang "Battery Systems Engineering 1st Edition", 2013.
- [4] Yuliya Semenova, Agus Hatta, Pengfei Wang, Gerald Farrell Qiang Wu, "Bent SMS Fiber Structure for Temperature Measurement," Electronics Letters, vol. 46, January, 2010.
- [5] Bentley, John P, "Principles of Measurement Systems 3rd edition. Prentice Hall: USA, 1995.
- [6] A. Fortier, M. Tsao , N. D. Williard, Y. Xing and M. G. Pecht,"Preliminary Study on Integration of Fiber Optic Bragg Grating Sensors in Li-Ion Batteries and In Situ Strain and Temperature Monitoring of Battery Cells". 2017.
- [7] Cheng,Ximing, Pecht, Michael "In Situ Stress Measurement Techniques on Li-ion Battery Electrodes: A Review".2017.
- [8]Bahaa E. A. Saleh. Marlvn Carl Teich "Fundamentals of Photonics", 2011.
- [9]Kao,Charles,Philips St. John R. "Fiber Optics Fundamental of Photonics". NewYork:Jhon Wiley&Sons, Incoorporation. 2009.
- [10] A. Kumar, E. Marinb, J.P. Meunierb, S. Antony C.a,R.K. Varshneya, A Simple and Novel Fiber Optic Temperature/Strain Sensor Using SMS Structure. 2013
- [11] Hatta, A. M. et al. "Singlemode-Multimode-Singlemode Optical Fibre Structures for Optical Sensing". Electronic and Communications Engineering, Faculty of Engineering.

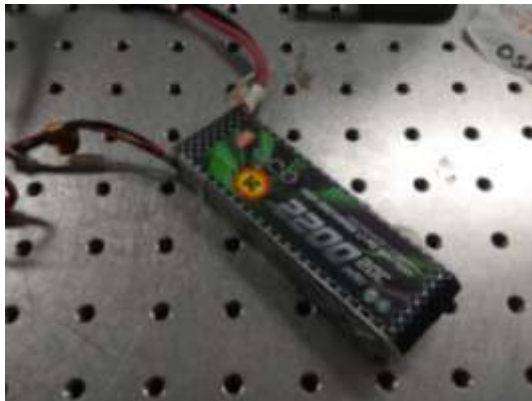
- Dublin Institute of Technology.2009.
- [12] Q.Wu, Y. Semenova, A. Hatta, P. Wang, G. Farrell. "Bent SMS Fiber Structure for Temperature Measurement". 2010.
 - [13] Syafrani, Sanif, "Rancang Bangun Sistem Pernapasan Berbasis Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS)," Surabaya, 2016.
 - [14]Hatta, Agus M. et al. "Strain sensor based on a pair of singlemode-multimode–singlemode fiber structures in a ratiometric power measurement scheme. Appl. Opt. Vol. 49. No. 3, 536 – 541". 2010.
 - [15] Humada, Tamzil, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Real Time Temperatur Berbasis Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS)," Surabaya, 2011.
 - [16] Shizo Muto Masuyaki Morisawa, "A Novel Breathing Condition Sensor Using Plastic Optical Fiber," IEEE, p. 1277, Februari 2004.

LAMPIRANA PERALATAN DAN BAHAN PENELITIAN

A.1 Peralatan dan Bahan

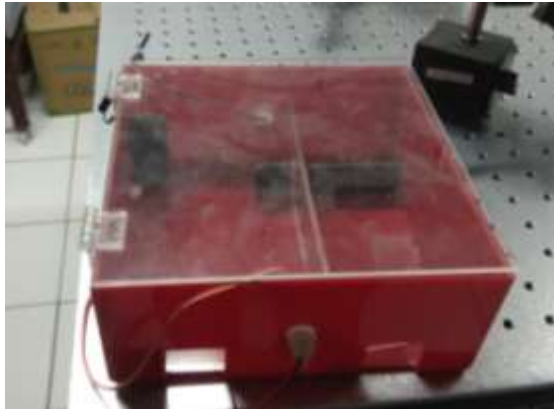


Gambar A.1.1 *Charging Station*



Gambar A.1.2 *Baterai Li-ion*

A-2



Gambar A.1.3 Kotak kontrol suhu



Gambar A.1.4 Adaptor



Gambar A.1.4 *Optical Power Meter*

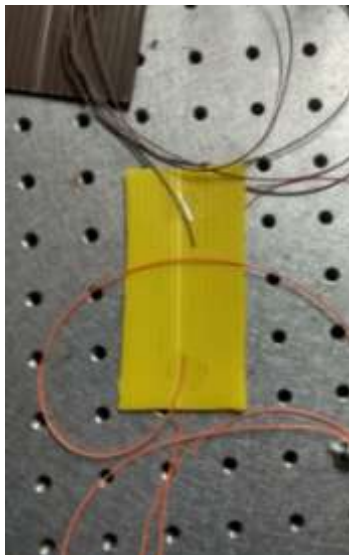


Gambar A.1.5 *Optical Light Source*

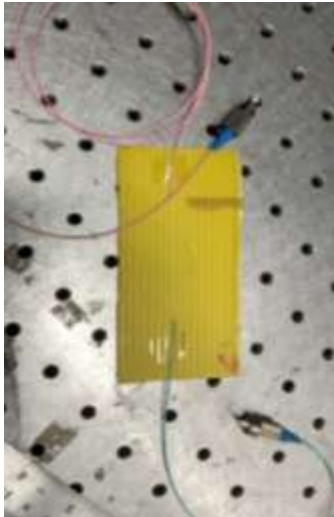
A-4



Gambar A.1.6 *Infrared Thermometer*



Gambar A.1.7 *multimode 2cm*



Gambar A.1.8 *multimode 3 cm*



Gambar A.1.9 *multimode 4 cm*

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

SPESIFIKASI ALAT DAN BAHAN

B.1 Spesifikasi *Step-Index Multimode Fiber-Thorlabs*

Item #	FG010LJA	FG025LJA	FG105LJA
Optical Specifications			
Wavelength Range	400 - 550 nm and 700 - 1000 nm	400 - 550 nm and 700 - 1400 nm	400 - 2100 nm
Numerical Aperture		0.190 ± 0.015	
Core Index		Proprietary ^a	
Cladding Index		Proprietary ^a	
Geometric Specifications			
Core Diameter	10 ± 3.0 µm	25 ± 3.0 µm	105 ± 3.0 µm
Cladding Diameter		125 ± 2.0 µm	
Coating Diameter		245 ± 10 µm	290 ± 10 µm
Core/Clad Concentricity		<1.0 µm	
Other Specifications			
Coating	Two-Layer Acrylate		
Minimum Bend Radius (Short Term / Long Term)	120 x Cladding Diameter / 240 x Cladding Diameter		
Operating Temperature	-68 to 85 °C		-40 to 85 °C
Proof Test	≥ 100 kpsi		

Gambar B.1.1 Spesifikasi fiber optik

B.2 Spesifikasi Sumitomo *Fusion Splicer Z1C*

Z1C
Silica glass
Single / SMF (G.652), MMF (G.651), DSF (G.653), NZDSF (G.655), BIF (G.657)
Cladding diameter : 80-150µm, Coating diameter: 100 - 1,000µm
5 - 16mm with coating clamp
SMF : 0.02dB, MMF : 0.01dB, DSF : 0.04dB, NZDSF : 0.04dB
60dB or greater
6sec (SM G652 Quick Mode), 8sec (Auto Mode)
20sec (FP5-61-2.6 sleeve, Slim 60mm Quick Mode)
Approx. 230 (BU-11)
2 CMOS camera observation
350X (zoom : 700X) for X or Y single axis view, 88X for both X & Y dual axis view
1.96 - 2.09N
Up to 60mm sleeves
Max. 300, 40 are pre-optimised, 260 editable by user
Max. 100, 19 are pre-optimised, 81 editable by user
200 images/10,000 splice data (internal memory only) 50,200/20,000 (with 8GB SD card)
0.1dB to 15dB in 0.1dB increments
Provided, 250µm, 900µm tight & loose buffer fiber
Provided
Provided
SMF / MMF / Other
Automatically compensates for environmental condition changes
120(W) x 154(D) x 130(H) mm (without anti-shock rubber)
1.7kg (without Battery) / 1.9kg (with Battery BU-115) / 2.0kg (with Battery BU-11)
4.3" touch screen color LCD display
DC 12V (for JR-6)
USB 2.0 (mini-B type)
SD / SDHC memory card Max. 32GB
AC 100 - 240V, 50/60Hz (ADC-1430S)
DC 10 - 15V
Li-Ion 11.1V, 4.600mAh (BU-11) / Li-Ion 11.1V, 2.300mAh (BU-115)
Altitude : 0 - 6,000m, Temperature : -10 - +50°C, Humidity : 0 - 95% (non-condensing),
Wind velocity : up to 15m/sec
Temperature : -40 - +80°C, Humidity : 0 - 95% (non-condensing), Battery : -20 - +30°C (long term)
6,000 arc discharges
Internet
Can be stored, edited and analyzed by dedicated PC software

Gambar B.1.2 Spesifikasi *fusion splicer*

B.3 Spesifikasi BG 32 Infrared Thermometer

BG 32 Infrared Thermometer**Features**

- Unit Selectable °F / °C
- Rugged & Ergonomic design for general purposes
- Ultra low power consumption in shutdown mode
- Extended long time measuring reliability
- Backlit LCD display
- Laser sighting On/Off is switchable

Applications

Electrical troubleshooting, Automotive repair & maintenance, Science experiments, Manufacturing process audits, HVAC energy audits, Test Terminals on circuits, Monitor the status of electrical motors and electrical panels

SPECIFICATIONS	
Temperature range	-20 to 320°C
Accuracy	+/-2% of reading or +/-2°C whichever is greater
Distance/Spot ratio	8:1
Thermopile	5 ~ 14 μ m
Repeatability	+/-1°C
Resolution	0.5°C
Response time	500 ms
Operation temperature	0 to 50°C, 10 to 90% RH
Auto Power Off	Automatically after approx. 6 sec
Emissivity	Fixed at 0.95
Storage temperature	-10 to 60°C
°C/°F switchable	yes
Backlight	yes
Laser sight switchable	yes
Battery type	9V (006P, IEC6F22, NEDA1604)
Battery life	16 hrs
Dimension	150 x 133 x 45 mm
Weight	135g approx.

Gambar B.1.3 Spesifikasi *infrared thermometer*

LAMPIRAN C

TABEL STABILITAS SENSOR

C.1 Stabilitas Sensor

Tabel-tabel stabilitas sensor, dimana t adalah waktu dan L adalah *loss* yang diambil setiap detik dalam kurun waktu 160 detik.

C.1.1 Stabilitas Sensor Panjang *Multimode* 2 cm Suhu 27.5 °C

Tabel C.1.1 Suhu 27.5 °C

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
1	-15.77	21	-15.75	41	-15.76	61	-15.77
2	-15.77	22	-15.75	42	-15.76	62	-15.77
3	-15.77	23	-15.75	43	-15.76	63	-15.77
4	-15.77	24	-15.75	44	-15.76	64	-15.77
5	-15.77	25	-15.75	45	-15.76	65	-15.77
6	-15.77	26	-15.75	46	-15.76	66	-15.77
7	-15.77	27	-15.75	47	-15.77	67	-15.77
8	-15.75	28	-15.75	48	-15.77	68	-15.77
9	-15.75	29	-15.75	49	-15.77	69	-15.77
10	-15.75	30	-15.75	50	-15.77	70	-15.77
11	-15.75	31	-15.75	51	-15.77	71	-15.77
12	-15.75	32	-15.75	52	-15.77	72	-15.77
13	-15.75	33	-15.75	53	-15.77	73	-15.77
14	-15.75	34	-15.75	54	-15.77	74	-15.77
15	-15.75	35	-15.76	55	-15.77	75	-15.77
16	-15.75	36	-15.76	56	-15.77	76	-15.77
17	-15.75	37	-15.76	57	-15.77	77	-15.77
18	-15.75	38	-15.76	58	-15.77	78	-15.77
19	-15.75	39	-15.76	59	-15.77	79	-15.77
20	-15.75	40	-15.76	60	-15.77	80	-15.77

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
81	-15.77	101	-15.77	121	-15.77	141	-15.77
82	-15.77	102	-15.77	122	-15.77	142	-15.77
83	-15.77	103	-15.77	123	-15.77	143	-15.77
84	-15.77	104	-15.77	124	-15.77	144	-15.77
85	-15.77	105	-15.77	125	-15.77	145	-15.77
86	-15.77	106	-15.77	126	-15.77	146	-15.77
87	-15.77	107	-15.77	127	-15.77	147	-15.77
88	-15.77	108	-15.77	128	-15.77	148	-15.77
89	-15.77	109	-15.77	129	-15.77	149	-15.77
90	-15.77	110	-15.77	130	-15.77	150	-15.77
91	-15.77	111	-15.77	131	-15.77	151	-15.76
92	-15.77	112	-15.77	132	-15.77	152	-15.76
93	-15.77	113	-15.77	133	-15.77	153	-15.76
94	-15.77	114	-15.77	134	-15.77	154	-15.76
95	-15.77	115	-15.77	135	-15.77	155	-15.76
96	-15.77	116	-15.77	136	-15.77	156	-15.76
97	-15.77	117	-15.77	137	-15.77	157	-15.76
98	-15.77	118	-15.77	138	-15.77	158	-15.76
99	-15.77	119	-15.77	139	-15.77	159	-15.76
100	-15.77	120	-15.77	140	-15.77	160	-15.76

C.2 Stabilitas Sensor Panjang *Multimode* 2 cm Suhu 29°C

Tabel C.1.2 Suhu 29 °C

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
1	-14.93	21	-14.92	41	-14.93	61	-14.93
2	-14.93	22	-14.92	42	-14.93	62	-14.93
3	-14.93	23	-14.92	43	-14.93	63	-14.93
4	-14.93	24	-14.92	44	-14.93	64	-14.93
5	-14.93	25	-14.92	45	-14.93	65	-14.93
6	-14.93	26	-14.93	46	-14.93	66	-14.93
7	-14.93	27	-14.93	47	-14.93	67	-14.93
8	-14.93	28	-14.93	48	-14.93	68	-14.92
9	-14.93	29	-14.93	49	-14.93	69	-14.92
10	-14.93	30	-14.93	50	-14.93	70	-14.92
11	-14.93	31	-14.93	51	-14.93	71	-14.92
12	-14.93	32	-14.93	52	-14.93	72	-14.92
13	-14.93	33	-14.93	53	-14.93	73	-14.92
14	-14.92	34	-14.93	54	-14.93	74	-14.92
15	-14.92	35	-14.93	55	-14.93	75	-14.92
16	-14.92	36	-14.93	56	-14.93	76	-14.92
17	-14.92	37	-14.93	57	-14.93	77	-14.92
18	-14.92	38	-14.93	58	-14.93	78	-14.92
19	-14.92	39	-14.93	59	-14.93	79	-14.92
20	-14.92	40	-14.93	60	-14.93	80	-14.92

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
81	-14.34	101	-14.34	121	-14.34	141	-14.34
82	-14.34	102	-14.34	122	-14.34	142	-14.34
83	-14.34	103	-14.34	123	-14.34	143	-14.34
84	-14.34	104	-14.34	124	-14.34	144	-14.34
85	-14.33	105	-14.33	125	-14.33	145	-14.33
86	-14.33	106	-14.33	126	-14.33	146	-14.33
87	-14.33	107	-14.33	127	-14.33	147	-14.33
88	-14.33	108	-14.33	128	-14.33	148	-14.33
89	-14.33	109	-14.33	129	-14.33	149	-14.33
90	-14.33	110	-14.33	130	-14.33	150	-14.33
91	-14.33	111	-14.33	131	-14.33	151	-14.33
92	-14.33	112	-14.33	132	-14.33	152	-14.33
93	-14.33	113	-14.33	133	-14.33	153	-14.33
94	-14.32	114	-14.32	134	-14.32	154	-14.32
95	-14.32	115	-14.32	135	-14.32	155	-14.32
96	-14.32	116	-14.32	136	-14.32	156	-14.32
97	-14.32	117	-14.32	137	-14.32	157	-14.32
98	-14.32	118	-14.32	138	-14.32	158	-14.32
99	-14.32	119	-14.32	139	-14.32	159	-14.32
100	-14.32	120	-14.32	140	-14.33	160	-14.32

C.3 Stabilitas Sensor Panjang *Multimode* 2 cm Suhu 30.5°C

Tabel C.1.3 Suhu 30.5°C

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
1	-14.33	21	-14.33	41	-14.34	61	-14.33
2	-14.33	22	-14.33	42	-14.34	62	-14.33
3	-14.33	23	-14.33	43	-14.34	63	-14.33
4	-14.33	24	-14.33	44	-14.34	64	-14.33
5	-14.33	25	-14.33	45	-14.33	65	-14.33
6	-14.33	26	-14.33	46	-14.33	66	-14.33
7	-14.33	27	-14.33	47	-14.33	67	-14.33
8	-14.33	28	-14.33	48	-14.33	68	-14.33
9	-14.33	29	-14.33	49	-14.33	69	-14.33
10	-14.33	30	-14.33	50	-14.33	70	-14.33
11	-14.33	31	-14.33	51	-14.33	71	-14.33
12	-14.33	32	-14.33	52	-14.33	72	-14.33
13	-14.33	33	-14.33	53	-14.33	73	-14.33
14	-14.33	34	-14.33	54	-14.32	74	-14.33
15	-14.33	35	-14.33	55	-14.32	75	-14.33
16	-14.33	36	-14.33	56	-14.32	76	-14.33
17	-14.32	37	-14.32	57	-14.32	77	-14.32
18	-14.32	38	-14.32	58	-14.32	78	-14.32
19	-14.32	39	-14.32	59	-14.32	79	-14.32
20	-14.32	40	-14.32	60	-14.32	80	-14.32

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
81	-14.34	101	-14.34	121	-14.34	141	-14.34
82	-14.34	102	-14.34	122	-14.34	142	-14.34
83	-14.34	103	-14.34	123	-14.34	143	-14.34
84	-14.34	104	-14.34	124	-14.34	144	-14.34
85	-14.33	105	-14.33	125	-14.33	145	-14.33
86	-14.33	106	-14.33	126	-14.33	146	-14.33
87	-14.33	107	-14.33	127	-14.33	147	-14.33
88	-14.33	108	-14.33	128	-14.33	148	-14.33
89	-14.33	109	-14.33	129	-14.33	149	-14.33
90	-14.33	110	-14.33	130	-14.33	150	-14.33
91	-14.33	111	-14.33	131	-14.33	151	-14.33
92	-14.33	112	-14.33	132	-14.33	152	-14.33
93	-14.33	113	-14.33	133	-14.33	153	-14.33
94	-14.32	114	-14.32	134	-14.32	154	-14.32
95	-14.32	115	-14.32	135	-14.32	155	-14.32
96	-14.32	116	-14.32	136	-14.32	156	-14.32
97	-14.32	117	-14.32	137	-14.32	157	-14.32
98	-14.32	118	-14.32	138	-14.32	158	-14.32
99	-14.32	119	-14.32	139	-14.32	159	-14.32
100	-14.32	120	-14.32	140	-14.33	160	-14.32

C.4 Stabilitas Sensor Panjang *Multimode* 2 cm Suhu 32°C

Tabel C.1.4 Suhu 32 °C

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
1	-13.63	21	-13.62	41	-13.63	61	-13.62
2	-13.63	22	-13.62	42	-13.62	62	-13.62
3	-13.63	23	-13.62	43	-13.62	63	-13.62
4	-13.63	24	-13.62	44	-13.62	64	-13.62
5	-13.63	25	-13.62	45	-13.62	65	-13.62
6	-13.63	26	-13.62	46	-13.62	66	-13.62
7	-13.63	27	-13.62	47	-13.62	67	-13.62
8	-13.65	28	-13.62	48	-13.62	68	-13.62
9	-13.65	29	-13.63	49	-13.63	69	-13.63
10	-13.65	30	-13.63	50	-13.64	70	-13.63
11	-13.65	31	-13.63	51	-13.63	71	-13.63
12	-13.65	32	-13.63	52	-13.63	72	-13.63
13	-13.65	33	-13.63	53	-13.63	73	-13.63
14	-13.65	34	-13.63	54	-13.63	74	-13.63
15	-13.65	35	-13.63	55	-13.63	75	-13.63
16	-13.65	36	-13.63	56	-13.63	76	-13.63
17	-13.65	37	-13.63	57	-13.63	77	-13.63
18	-13.65	38	-13.63	58	-13.63	78	-13.63
19	-13.65	39	-13.63	59	-13.63	79	-13.63
20	-13.65	40	-13.63	60	-13.63	80	-13.63

t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)	t (s)	L (dBm)
81	-13.62	101	-13.62	121	-13.64	141	-13.62
82	-13.62	102	-13.62	122	-13.64	142	-13.62
83	-13.62	103	-13.62	123	-13.64	143	-13.62
84	-13.62	104	-13.62	124	-13.64	144	-13.62
85	-13.62	105	-13.62	125	-13.62	145	-13.62
86	-13.62	106	-13.63	126	-13.63	146	-13.63
87	-13.62	107	-13.63	127	-13.63	147	-13.63
88	-13.62	108	-13.63	128	-13.63	148	-13.63
89	-13.63	109	-13.63	129	-13.63	149	-13.63
90	-13.63	110	-13.63	130	-13.63	150	-13.63
91	-13.63	111	-13.63	131	-13.63	151	-13.63
92	-13.63	112	-13.63	132	-13.63	152	-13.63
93	-13.63	113	-13.63	133	-13.63	153	-13.63
94	-13.63	114	-13.63	134	-13.63	154	-13.63
95	-13.63	115	-13.63	135	-13.63	155	-13.63
96	-13.63	116	-13.63	136	-13.63	156	-13.63
97	-13.63	117	-13.63	137	-13.63	157	-13.63
98	-13.63	118	-13.63	138	-13.63	158	-13.63
99	-13.63	119	-13.63	139	-13.63	159	-13.63
100	-13.63	120	-13.63	140	-13.63	160	-13.63

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap **Ferry Muhammad**, lahir di Jakarta pada tanggal 17 Mei 1993 dan merupakan anak terakhir dari 4 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di S.T Thomas More Ottawa, SD Negeri Polisi 4 Bogor dan SD Negeri Cipinang Melayu 04 Pagi kemudian SMP Negeri 109 Jakarta Timur. Kemudian melanjutkan studinya di SMA Negeri 81 Jakarta Timur. Penulis melanjutkan studi ke jenjang Strata 1 di program Jurusan

Teknik Fisika dengan NRP 2412100107. Pada tahun 2017 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul **“RANCANG BANGUN SENSOR PENGUKUR SUHU BATERAI LITHIUM-ION (LI-ION) BERBASIS SERAT OPTIK SINGLEMODE–MULTIMODE- SINGLEMODE(SMS)”**

Penulis mengambil bidang rekayasa fotonika dan telah bergabung dalam HMTF ITS, Laboratorium rekayasa fotonika dan AIESEC Surabaya. Bagi pembaca yang memilikisaran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis melalui email: ferrymuhammadh@gmail.com.